

Количественный анализ тонких пленок NbN методом EELS в режиме STEM

М.М. Дементьева¹, К.Е. Приходько^{1,2}, Б.А. Гурович¹, Л.В. Кутузов¹, Д.А. Комаров¹

¹Национальный Исследовательский Центр «Курчатовский институт», 123182, Москва, Россия
dementyeva_mm@nrcki.ru

²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 115409, Москва, Россия

Количественная информация об электрофизических свойствах ультратонких (5 нм) сверхпроводящих пленок NbN до и после облучения ионами с энергией (0.1-1 кэВ) исследуется методом спектроскопии энергетических потерь электронов в режиме сходящегося пучка электронов.

Quantitative analysis of NbN thin films by EELS technique in STEM mode

M.M. Dementyeva¹, K.E. Prikhodko^{1,2}, B.A. Gurovich¹, L.V. Kutuzov¹, D.A. Komarov¹

¹National Research Centre «Kurchatov Institute», 123182, Moscow, Russia

²National Research Nuclear University «MEPhI», 115409, Moscow, Russia

Quantitative information about electrical properties of superconductive NbN ultrathin (0.5 nm) films before and after irradiation by ions with energies (0.1-1 keV) were investigated by Electron energy loss spectroscopy in STEM mode.

При создании новых устройств и приборов криоэлектроники на основе сверхпроводящих пленок нитрида ниобия, толщина которых составляет 5 нм, необходимо знать их структуру для понимания и прогнозирования свойств. Количественная информация об их структуре и составе позволяет получить современная аналитическая просвечивающая растровая электронная микроскопия (ПРЭМ). Существенным преимуществом данного метода на сегодняшний день является высокое пространственное разрешение ($\sim 1.2 \text{ \AA}$) и возможность анализа с помощью нанозонда соответствующего диаметра $\sim 1.2 \text{ нм}$.

В настоящей работе для разработки пассивных и активных устройств на основе пленок NbN, работающих при криогенных температурах, используются методы радиационно-индуцированной управляемой модификации состава и физических свойств материалов в процессе облучения низкоэнергетическими ионными пучками [1, 2].

Объектом исследований являлись тонкие сверхпроводящие пленки NbN толщиной 5 нм на подложке из окисленного кремния после ионного облучения. Пленки облучали низкоэнергетичными ионными пучками, состоящими из ионов кислорода, для контролируемого изменения толщины сверхпроводящей пленки за счет окисления верхнего слоя и трансформации его из сверхпроводящего состояния в диэлектрическое.

Исследования электрофизических свойств исходных и облученных образцов проводилось методом спектроскопии энергетических потерь электронов (СЭПЭ) на электронном микроскопе Titan 80 – 300 при ускоряющем напряжении 200 кВ. Поперечные срезы пленок готовились на установке FIB Helios Nanolab 650.

Электрофизические свойства тонких пленок нитрида ниобия определялись по изменению плотности свободных электронов на уровне Ферми методом (СЭПЭ) в области низких потерь энергии. Энергия плазмонов $E_p = (\hbar/2\pi)\omega_p = (\hbar/2\pi)[(ne^2)/(\epsilon_0 m)] \approx 20 \text{ эВ}$, где n – плотность свободных электронов. Функция распределения потерь энергии выражается через диэлектрическую функцию $\epsilon = \epsilon_1 + i\epsilon_2$, где ϵ_1 – степень поляризации электронной системы, а ϵ_2 – мера поглощения электронной системы. Энергии плазмонных потерь соответствует значение $\epsilon_1 = 0$. Для определения ϵ_1 используется преобразование Крамерса-Кронига.

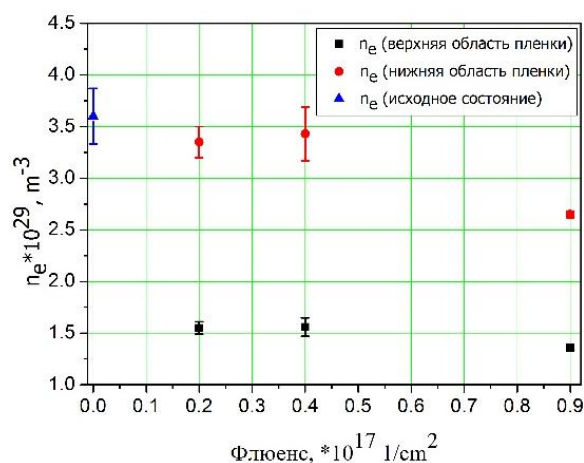


Рисунок 1. Зависимость плотности свободных электронов от дозы облучения для верхней и нижней областей пленки.

После кислородного облучения тонких сверхпроводящих пленок NbN при разных флюенсах проведена оценка изменения электрофизических свойств (Рис. 1). Показано, что с увеличением дозы облучения плотность свободных электронов уменьшилась с $3,35 \cdot 10^{29}$ до $2,65 \cdot 10^{29} \text{ м}^{-3}$ для нижней области и от $1,55 \cdot 10^{29}$ до $1,36 \cdot 10^{29} \text{ м}^{-3}$ для верхней области пленки, что было вызвано заменой атомов азота атомами кислорода и трансформацией сверхпроводящего NbN в диэлектрик Nb₂O₅ под действием облучения.

1. Б.А. Гурович, К.Е. Приходько, Е.А. Кулешова, К.И. Маслаков, Д.А. Комаров, *ЖЭТФ*, **143**, 1062-1076 (2013).
2. Б.А. Гурович, М.А. Тархов, К.Е. Приходько, Е.А. Кулешова, Д.А. Комаров, В.Л. Столяров, Е.Д. Ольшанский и др., *Российские нанотехнологии*, **9**, 16-20 (2014).